

Tommi Tyni

## RISTEILYLAIVAN SÄHKÖNTUOTTO JA -JAKELU

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2014

## RISTEILYLAIVAN SÄHKÖNTUOTTO JA -JAKELU

Tyni, Tommi  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Syyskuu 2014  
Ohjaaja: Pulkkinen, Petteri  
Sivumäärä: 46  
Liitteitä:

Asiasanat: kaasuturbiini, höryturbiini, generaattori

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua ison ja nykyaikaisen risteilyaluksen sähköntuotantoon ja -jakeluun sekä niihin liittyvien järjestelmien huolto- ja kunnossapitotöihin sähkökadettina kuuden kuukauden ajan.

Jewel of the Seas tuottaa tarvitsemansa sähkön normaaliolosuhteissa merellä kahden kaasu- ja yhden höryturbiinin avulla. Kaasuturbiinien tuottamat kuumat pakokaasut otetaan talteen ja niillä käytetään höryturbiinia, jolloin turbiinien hyötysuhdetta saadaan merkittävästi parannettua. Kaasuturbiinien polttoaineen korkean hinnan sekä osakuorman aikaisen korkean polttoaineen kulutuksen johdosta laivalle asennettiin kolmas dieselgeneraattori, jota käytetään pääasiassa kun laiva on satamassa eikä propulsiolle ole tarvetta. Lisäksi laivalla on yksi apudieselgeneraattori sekä hätä dieselgeneraattori, jota käytetään ainoastaan mahdollisen sähkökatkoksen aikana.

Generaattoreissa tuotettu 11 kV sähkö siirtyy ensin pääsähkötauluun, joka on kolmiosainen. 11 kV sähköverkosta syötetään seitsemää isoa moottoria, jotka ovat kaikki välttämättömiä laivan toiminnan kannalta, näitä ovat kolme keulapotkuria sekä neljä kompressoria. Pääsähkötaulusta sähkö siirtyy konehuoneen moottorikontrollikeskuksille ja muuntoasemille 11 kV/690 V muuntajien kautta. Pääsähkötaulu syöttää lisäksi laivan jokaista seitsemää paloaluetta, joilla jokaisella on oma muuntajansa. Paloalueen sisällä sähkön jakelu kuluttajille suoritetaan pääasiassa virtakiskojen avulla. Laivan suurta keittiötä syötetään sähkötaulusta GD10, joka on jaettu kahteen osaan. Molempia osia syöttää oma 11 kV/450 V muuntajansa.

Generaattorit ovat elintärkeitä laivan normaalin toiminnan kannalta, joten niiden huoltoihin käytetään paljon aikaa. Suuri osa kunnossapitotyöstä on joko yksinkertaisesti siivousta ja puhdistusta tai automaattihälytyksien testausta eri järjestelmien sensoreita testaamalla. Laivan valvomossa on vahdissa konemestari ympäri vuorokauden, jonka täytyy koko ajan tietää mitä laivan lukuisissa järjestelmissä tapahtuu. Yksi laivan suurimmista testeistä on kerran neljässä kuukaudessa tapahtuva sähkökatkostesti, jolla testataan hätäjärjestelmien toiminta mahdollisen sähkökatkoksen sattuessa. Lisäksi hätäjärjestelmien testaukseen kuuluu kerran kuukaudessa tapahtuva UPS-järjestelmien akkujen testaus, joiden vaatimuksena on kestää vähintään puoli tuntia.

# The production and distribution of electricity on a cruise ship

Tyni, Tommi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

September 2014

Supervisor: Pulkkinen, Petteri

Number of pages: 46

Appendices:

Keywords: gas turbine, steam turbine, generator

---

The purpose of this thesis was to get to know the production and distribution of electricity onboard a big and modern cruise ship including the maintenance of these systems while working as an electrical cadet onboard for six months.

Under normal sea conditions the electricity onboard the Jewel of the Seas is produced with two gas turbine generators and one steam turbine generator. The hot exhaust gases of the gas turbines are collected and used to run the steam turbine which helps to improve the power factor considerably. Due to the high fuel price and bad fuel consumption when not using a full load, an additional diesel generator was installed which is used when the ship is docked and no propulsion is needed. There is also one auxiliary diesel generator and one emergency diesel generator onboard of which the emergency generator is used only during a blackout.

The 11 kV electricity produced in the generators is first transferred to the main switchboard which consists of three different parts. The 11 kV network supplies seven big motors which are all essential to the ship's operation. These motors are three bow thrusters and four compressors. Electricity is transferred from the main switchboard to the motor control centers and distribution centers in the engine room with the help of 11 kV/690 V transformers. The main switchboard also supplies the seven fire zones onboard and their own transformers. The consumers within the fire zones are supplied mainly by bus-bars. The ship's big galley is being fed from the two-part galley switchboard GD10. Both parts have their own 11 kV/450 V transformer.

The generators onboard are essential to the ship's operation which is why a lot of time and effort are put in to maintain them. A big part of this maintenance work is simply either cleaning or testing the alarms for ship's automation by testing the numerous sensors for the different systems. There is an engineer on watch in the engine control room 24 hours a day who has to know what is going on with the ship's systems at all times. One of the biggest tests onboard is the blackout test that takes place every four months and is used to test the emergency systems if a blackout was to occur. The testing of ship's UPS batteries is also performed to test the emergency systems and the requirement for the batteries to last is half an hour.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ROYAL CARIBBEAN INTERNATIONAL.....	6
3	JEWEL OF THE SEAS.....	7
3.1	Laivan voimanlähde.....	9
3.1.1	Kaasuturbiini .....	9
3.1.2	Höryturbiini .....	13
3.1.3	COGAS/COGES .....	15
3.1.4	Dieselgeneraattorit.....	16
4	SÄHKÖOSASTO.....	20
4.1	Yleistä työturvallisuudesta.....	22
5	SÄHKÖNJAKELU .....	24
6	GENERAATTORIEN HUOLTO .....	28
6.1	Dieselgeneraattorien huolto .....	30
6.2	Kaasuturbiinigenaattorien huolto.....	33
6.3	Höryturbiinigenaattorin huolto .....	35
7	SÄHKÖN JAKELUN HUOLTO .....	38
8	YHTEENVETO .....	42
	LÄHTEET .....	45

## 1 JOHDANTO

Olin ollut Royal Caribbeanin laivoilla IT-töissä jo keväästä 2007 valmistuttuani Turun Ammattikorkeakoulusta IT-insinööriksi. Ison risteilijälaivan IT-työt tuntuivat kiinnostavilta, sillä ne ovat paljon monipuolisempia kuin mitä normaaleissa asiantuntijatyöpaikoissa maissa. Ajatus sähkö- ja ”oikealle” merimiespuolelle siirtymisestä alkoi kyteä vuosia myöhemmin, kun aloin yhä enemmän ja enemmän tehdä yhteistyötä laivan sähkömestarien kanssa. Monet töihin liittyvät ongelmat eivät yksiselitteisesti olleet pelkästään IT- eikä sähköpuolen ongelmia, joten yhteistyö alkoi enemmän tai vähemmän pakon edessä. Huomasin kuitenkin olevani paljon kiinnostuneempi töistä, jotka eivät varsinaisesti itselleni kuuluneet, sekä merimiespuolen lyhyemmät sopimukset talouspuoleen verrattuna toimivat myös kannustimena kunnes vihdoinkin mennä takaisin ammattikorkeakouluun jatkamaan opintoja ja jäin laivoilta pois.

Pitkällisen prosessin jälkeen olin tilanteessa, jossa sähkökadetiksi lähteminen oli ajankohtaista. Kokemus oli aika erilainen aikaisempiin sopimuksiin verrattuna. Pitkät työajat, kymmenen tuntia päivässä, sekä pitkä kuuden kuukauden sopimus itsessään olivat jo aika haastava yhtälö opinnäytetyötä kirjoittamista ajatellen iltaisin kun olisin paljon mieluummin levännyt kuin kirjoittanut. Kokemus oli kyllä kaiken kaikkiaan positiivinen, vaikka osa kadetin ohjelmaa on normaalin merimieselämän opiskelu, esimerkiksi jokaviikkoinen savusukellusharjoitus, joka minulle oli ennestään jo tuttua. Toisaalta tämä oli myös hyvä asia, sillä pystyin keskittymään minulle tärkeisiin asioihin.

Kadettina ollessani en saanut tehdä mitään vaativaa ilman opastusta, mutta seurattuani sähkömestareiden toimintaa lähetä kuuden kuukauden ajan tunnen olevani valmis niihin töihin, vaikka varsinaista sähkömestarin koulutusta minulla ei olekaan. Onnekseni kävi onni laivan kanssa kun kohdalle osui laiva, jossa sähköpuolen työntekijät olivat mukavia eikä jatkuva opettamiseni tuntunut olevan liikaa pyydetty. Tämä ei välttämättä olisi ollut tilanne joka laivassa, sillä viime vuosikymmenten aikana laivojen toimintaa on tehostettu ja työntekijöitä on vähennetty kautta linjan, jolloin kiire ja stressi voivat olla joillekin liikaa.

## 2 ROYAL CARIBBEAN INTERNATIONAL

Miamissa, Floridassa päämajaansa pitävä norjalainen ja yhdysvaltalainen Royal Caribbean International on Royal Caribbean Cruises Ltd:n omistama risteilyvarustamo, jonka liikevaihto vuonna 2012 oli 7,688 miljardia dollaria. Yhtiö perustettiin Norjassa vuonna 1968, ja se on tällä hetkellä maailman toiseksi suurin risteilyvarustamo noin 17 prosentin markkinaosuudellaan edellään vain Carnival Cruise Lines. Royal Caribbean Internationalin sisaryhtiöitä ovat Celebrity Cruises, Azamara Cruises, Pullmantur Cruises, CDF Croisières de France ja TUI cruises. Suomalaisille tutun varustamon laivastoon kuuluu tällä hetkellä 21 eri puolilla maailmaa seilaavaa laivaa, joista peräti 12 on rakennettu Suomessa, esimerkiksi Turun STX:n telakalta vuosina 2009 ja 2010 valmistuneet maailman suurimmat risteilijäalukset Oasis of the Seas ja Allure of the Seas. Makuupaikkoja matkustajille näissä laivoissa on yhteensä noin 60.000. Tällä hetkellä Royal Caribbean International tarjoaa risteilyjä 223 eri kohteeseen 72 eri maassa ja kuudessa eri maanosassa, ja vuonna 2013 arviolta lähes 3.5 miljoonaa henkilöä valitsi matkakohteekseen jonkun varustamon laivoista. /8/

Royal Caribbean International on innovatiivinen varustamo, joka haluaa jatkuvasti hämmästyttää matkustajiaan isoilla ja moderneilla laivoillaan. Edellä mainittu Allure of the Seas esimerkiksi maksoi yli 900 miljoonaa euroa, on 361,8 metriä pitkä ja 225,282 tonnia bruttovetoisuudeltaan. Tämän ja yhtiön muiden laivojen erikoisiin palveluihin kuuluvat esimerkiksi 3D-elokuvateatteri, vesiteatteri, eri kansien välillä liikkuva baariravintola, vesipuisto ja sisäjäärata. Uusi, vuoden 2014 loppupuolella valmistuva Quantum of the Seas sisältää uutuuksinaan esimerkiksi laskuvarjohyppysimulaattorin, liikkuvan näkötornin, sekä urheiluareenan, joka voidaan tarvittaessa muuttaa esimerkiksi tanssilattiaksi tai sähköautoradaksi. /19/

Kun otetaan huomioon monipuolisen teknologian lisäksi laivojen vaativat olosuhteet sekä alati vaihtuvat sääolot – vaaditaan laivoja kunnossapitävältä miehistöltä rautaista ammattitaitoa sekä todella paljon työtunteja – laivalla kun matkustajia on enemmän tai vähemmän käytännössä koko ajan, mikä luo omalta osaltaan haasteita kunnossapitotyölle.

### 3 JEWEL OF THE SEAS

Jewel of the Seas on Radiance-luokan laiva, joka on rakennettu Meyer Werftin telakalla Papenburgissa, Saksassa. Jewel in köli laskettiin 9. marraskuuta 2002, ja laiva laskettiin vesille 13. maaliskuuta 2004. Jewel luovutettiin Royal Caribbean Internationalille 4. huhtikuuta ja neitsytmatkalleen Jewel lähti 5. toukokuuta 2004. Jewel, kuten kaikki muutkin Royal Caribbean Internationalin laivat, seilaa Bahaman lipun alla. Tätä opinnäytetyötä kirjoitettaessa Jewel in kotisatama oli San Juan Puerto Ricossa ja se risteilee Karibialla pääsääntöisesti vuoroviikoin seuraavasti pienin poikkeuksin: /4/

Taulukko 1. Jewel in risteily kesällä 2014 /4/

Viikonpäivä	Satama
lauantai	San Juan, Puerto Rico
sunnuntai	Tortola, Brittiläiset Neitsytsaaret
maanantai	Philipsburg, St. Maarten
tiistai	Basseterre, St. Kitts
keskiviikko	Roseau, Dominica
torstai	Bridgetown, Barbados
perjantai	meripäivä

Taulukko 2. Jewel in risteily kesällä 2014 /4/

Viikonpäivä	Satama
lauantai	San Juan, Puerto Rico
sunnuntai	Charlotte Amelie, St. Thomas
maanantai	St. Croix, Yhdysvaltain Neitsytsaaret
tiistai	St. Johns, Antigua
keskiviikko	Fort-de-france, Martinique
torstai	Castries, St. Lucia
perjantai	meripäivä

Radiance-luokka on verrattain pieni luokka, kun sitä verrataan Royal Caribbean Internationalin muihin laivaluokkiin, Radiance-luokka on bruttovetoisuudeltaan noin 91 000 tonnia kun suurin luokka, Oasis, on noin 225 000 tonnia. Jewel in lisäksi muita Radiance-luokan laivoja ovat Brilliance, Serenade sekä Radiance. Normaalien risteilylaivojen tavoin tämän luokan laivoilta löytyvät esimerkiksi useampia uima- ja pore-altaita, kasino, kylpylä saunoineen, kauppoja, useita ravintoloita ja baareja. Erikoisempaan tarjontaan kuuluvat esimerkiksi terveysasema, kirjasto, elokuvateatteri, juoksurata, minigolf-rata, koripallokenttä sekä Royal Caribbean Internationalin tavaramerkiksi muodostunut kiipeilyseinä. Taulukossa 3 Jewel in tietoja ja tärkeimpiä mittoja, ja vertailun vuoksi taulukossa 4 Silja European tärkeimpiä mittoja: /4/

Taulukko 3. Jewel of the Seas /5/

Lippuvaltio	Bahama
Kotipaikka	Nassau
Kansia	15
IMO-numero	9228356
MMSI-numero	311583000
Suurin pituus	293,20 m
Leveys	32,40 m
Suurin syväys	9,00 m
Bruttovetoisuus (GT)	90 090
Matkustajakapasiteetti	2501
Nopeus	25 solmua

Taulukko 4. Silja Europa /6/

Kansia	13
Suurin pituus	201,68 m
Leveys	32,00 m
Suurin syväys	6,80 m
Bruttovetoisuus (GT)	41 039
Matkustajakapasiteetti	3013
Nopeus	21.5 solmua



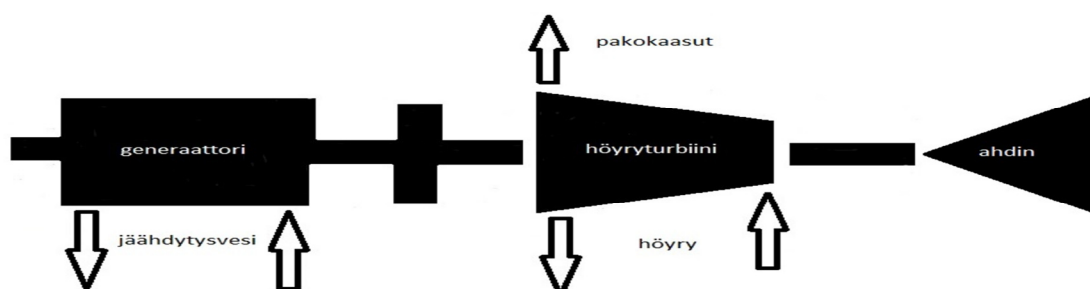
### 3.1 Laivan voimanlähde

Jewel of the Seas käyttää pääasiassa kaasuturbiinia voimanlähteenään. Tarkemmin sanottuna kahta General Electric LM2005+-kaasuturbiini-generaattoria yhdessä Fincantieri 56B höyryturbiinin kanssa ns. COGES-kombinaatiossa. Kumpikin kaasuturbiini tuottaa akselitehoa 25 MW ja sen lisäksi höyryturbiini noin 9,45 MW. Kaasuturbiini mahdollistaa suuremmat matkanopeudet sekä vähemmän saasteita, kuin perinteisillä dieselmoottoreilla varustetut alukset.

#### 3.1.1 Kaasuturbiini

Kaasuturbiinin muodostavat moniasteinen, tehokas ahdin, sarja polttimia sekä turbiini. Ahdin on yleensä aksiaaliahdin, sillä radiaaliahtimia käytetään suhteellisen pienitehoisissa kaasuturbiineissa. Jos kierroslukua on tarpeen muuttaa, kytketään hammaspyörävaihte turbiinin ja käytettävän koneen väliin. /3/

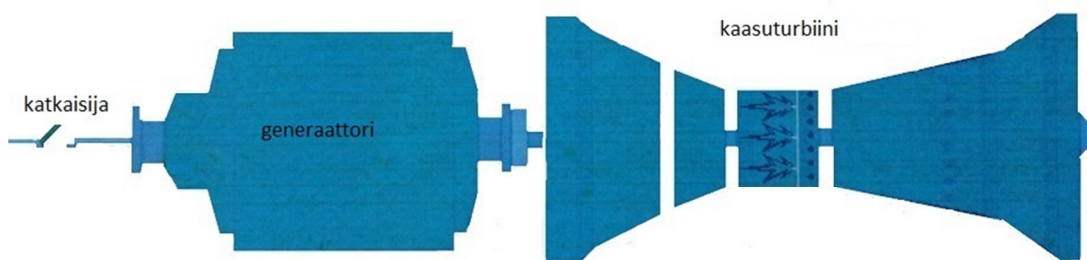
Ulkoa otettu ilma puristetaan kokoon ja siirretään poltinkammioon, jossa poltetaan polttoainetta, ja palamisesta syntynyt lämpö lisätään puristettuun ilmaan. Puristettu ja korkeaan lämpötilaan lämmitetty ilman ja palamistuotteiden sekoitus siirretään turbiiniin, jossa lämpöenergia erotetaan ja muunnetaan mekaaniseksi pyörimistyöksi. Pieni osa turbiinin kehittämästä tehosta käytetään aksiaaliahtimen käyttämiseen, ja loppuosa tehosta käytetään käytettävän koneen pyörittämiseen. /3/



Kuva 1. Kaasuturbiinin toimintaperiaate /3/

The LM2500+ muodostuu kaasugeneraattorista, voimaturbiinista ja akselista.

Kaasugeneraattori rakentuu 17-vaiheisesta korkeapainekompressorista, 2-vaiheisesta korkeapaineturbiinista, ohjausjärjestelmästä sekä lisätarvikkeista. Kompressorin sekä turbiinin roottorit ovat kiinnitetty toisiinsa splineillä. Roottori pyörii myötäpäivään, kun sitä katsotaan takaapäin. /14/

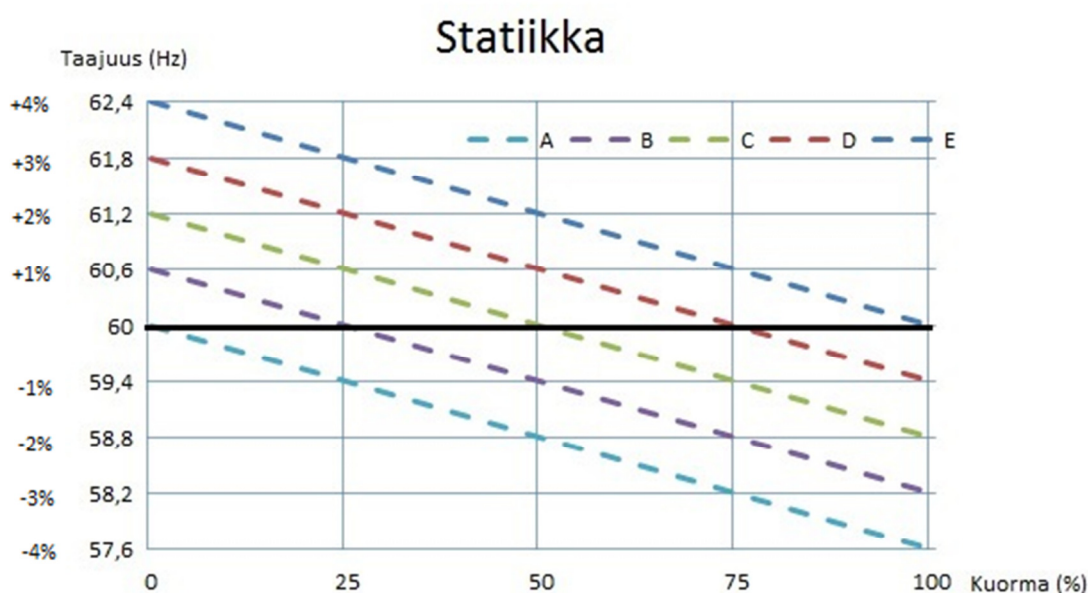


Kuva 2. LM2500+-kaasuturbiini-generaattoriyksikkö /2/

Generaattorin kaksi käytössä olevaa ohjaustilaa ovat statiikka ja isokroninen. Näillä tiloilla ohjataan kaasuturbiinigenaattoripaketin tuottamia megawatteja. Molemmat ohjaustilat vaikuttavat voimaturbiinin nopeuteen eli kuormaan. Kuormaa määriteltäessä on otettava huomioon myös muita tekijöitä, kuten ympäröivät olosuhteet, kiihtyvyys- ja hidastuvuusnopeudet ja kaasugeneraattorin rajoitukset. Ensisijainen kuormanhallintakeino on nopeuden suositusarvot. Laivan kuormanhallintajärjestelmän tehtävä on asettaa kuorma rajoitusten mukaisesti. /14/

Generaattorin pääasiallinen ohjausmuoto laivalla on statiikka, joka tarkoittaa tuotetun pätötehon suhteellista muutosta verrattuna taajuuden muutokseen. Kun turbiini on asetettu statiikkamoodiin, turbiinin kuorma pakottaa turbiinin nopeuden ja sähkötaajuuden putoamaan suhteessa käytössä olevaan kuormaan. Jotta turbiini pystyy ylläpitämään asetetun taajuuden, turbiinin nopeuden pitää nousta, jolloin taajuuden poikkeavuus pystytään korjaamaan. Kuorman pienentäminen toimii päinvastoin. Turbiinin kuorman pienentäminen aiheuttaa turbiinin nopeuden nousun samassa suhteessa, joka vaatii sen, että turbiinin nopeutta tulee pienentää, jotta taajuuspoikkeavuus pystytään korjaamaan. Nämä signaalit tulevat joko käyttäjältä, joka manuaalisesti nostaa tai laskee nopeutta, tai automaatiojärjestelmästä, joka tunnistaa taajuuden heittelyt ja jakaa korjauskäskyt niiden mukaan. /14/

Statiikan vaatimien nopeudenkorjaussignaalien synty on riippuvainen generaattorin ohjausmoodista. Tasot yksi ja kaksi ohjaavat taajuutta manuaalisesti; käyttäjän on huomattava taajuuden poikkeama ja korjattava se joko manuaalisesti (taso 1) tai tietokoneen avulla (taso 2). Statiikan automaattinen ohjaus hoidetaan laivan automaation kautta. Tämä tapahtuu vain, kun järjestelmä on asetettu tasoon kolme. Automaatio tunnistaa järjestelmän taajuuden, ja korjaa sitä, tarvittaessa jokaista COGES-tehtaan osaa erikseen. Kolmannen tason häiriöt asettavat järjestelmän automaattisesti takaisin tasolle yksi. /14/



Kuva 3. 4%-n statiikka-ohjaustila /14/

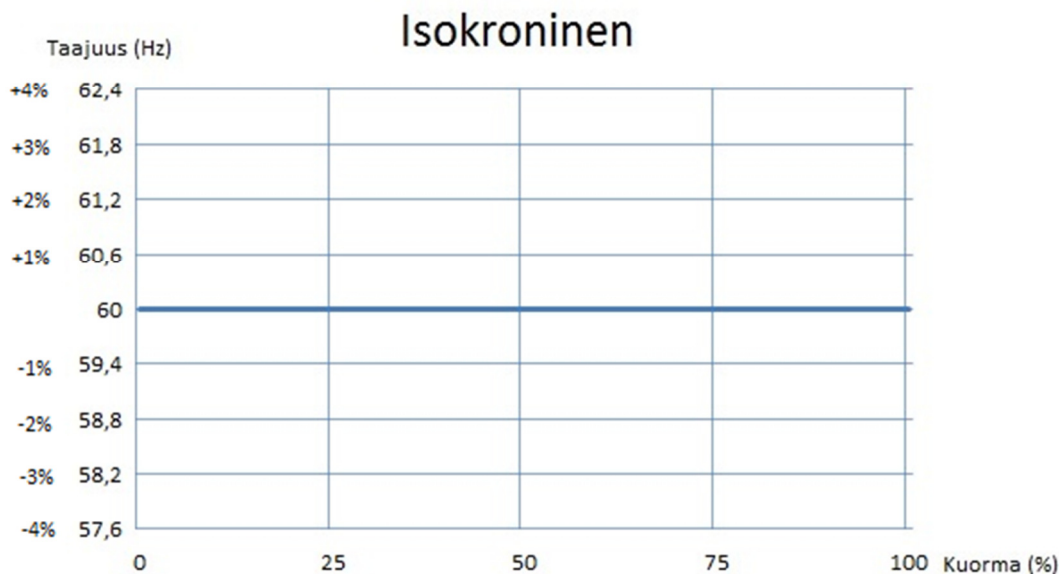
Toinen valittavissa oleva ohjaustila on isokroninen, jota käytetään varmistusjärjestelmänä. Isokroninen tila mahdollistaa kaasuturbiinigeneraattorin hyväksyvän miten suuren kuorman tahansa ilman käyttäjän vaikutusta, ja samalla se yrittää ylläpitää asetettua taajuutta niin hyvin, kuin mahdollista. Liian suuri kuorma saattaa kuitenkin aiheuttaa generaattorin putoamisen verkosta varsinkin hyvin suurien hetkellisten kuormien aikana. Isokroninen tila mahdollistaa laivan kahden turbiini-generaattori-kattila-yhdistelmän toimimisen yhdessä jakaen megawattikuorman tasan, jolloin myös kuorman muutokset jaetaan tasan näiden kahden järjestelmän kesken. Käyttäjän väliintuloa ei vaadita, kun järjestelmät jakavat

kuorman isokronisesti. Edellä mainitut rajoitukset pätevät myös kahdella järjestelmällä, mutta niiden vaikutukset ovat pienemmät. /14/

Isokronisen moodin voi käyttäjä valita miltä tahansa tasolta seuraavasti: tasolta 1 kääntämällä vipua, tasolta 2 tietokoneen avulla tai automaatiosta tasolta 3. Jos molemmat turbiinit asetetaan isokrooniseen moodin niiden ollessa rinnan, aktivoituu isokroninen kuormanjakolinja turbiinien välillä. Ensisijainen kuormanjakolinja on kahden turbiinin Woodwardin valmistaman DSLC-laitteen välillä. Tämä digitaalinen tahdistin ja kuormanhallintalaite sijaitsee turbiinin ohjaustaulussa. Kommunikointi tapahtuu erittäin nopean sarjayhteyden avulla, joka välittää tiedot turbiinin kuormasta ja taajuudesta järjestelmälle, ja niiden avulla järjestelmä laskee toisen turbiinin kuorman. Tämän jälkeen DSLC laskee miten sen turbiinin tulisi käyttäytyä verrattuna toiseen turbiiniin ja tarvittaessa antaa käskyn Netcon-säätölaitteelle nopeudenmuutoskäskyn. Tämä signaali DSLC:lta Netconille on 4-20mA seuraavin ominaisuuksin: /14/

- 12 mA tarkoittaa, että kuorma pysyy samana.
- <12 mA tarkoittaa pienempää kuormaa
- >12 mA tarkoittaa suurempaa kuormaa

Järjestelmän suojaus häiriöitä varten on järjestetty niin, että molempien turbiinien Netconit hyväksyvät nämä 4-20 mA signaalit molemmilta turbiineilta. Jos siis toinen Netconeista, tai niiden välinen linkki, menisi epäkuntoon, pystytään kuormanjakoa kontrolloimaan vain yhdelläkin Netconilla. /14/



Kuva 4. Isokroninen ohjaustila /14/

### 3.1.2 Höyryturbiini

Höyryturbiinin toimintaperiaate on yksinkertainen: höyrynpaine työntää turbiinin siipipyörää, jolloin samalle akselille kytketty generaattori tuottaa sähköä pyörimisliikkeen avulla. /9/

Höyryturbiini on yhdistetty generaattoriin alennusvaihteen avulla, joka muuntaa turbiinin nopeuden 7943 kierrosta minuutissa generaattorin nopeudeksi 1800 kierrosta minuutissa. Turbiinin nopeutta ja kuormaa kontrolloidaan säätelyöljyjärjestelmän avulla, joka säätelee höyryn virtausta turbiiniin lukuisen venttiilien avulla. Turbiini on suojattu elektronisin ja mekaanisin keinoin ylinopeutta vastaan. /9/

Jewelin turbiinigenaattori toimii rinnan laivan kahden kaasuturbiinin kanssa, ja se saa energiansa kaasuturbiinien kuumista pakokaasuista. Höyryturbiini on yhdistetty generaattoriin Renk Tache vaihdelaatikon avulla. Vaihdelaatikon öljypumppu, apunaan lisä- sekä hätäpumput, syöttää voiteluöljyä turbiinin laakereihin, generaattorin laakereihin sekä vaihdelaatikkoon. /9/

Jotta laakereiden voitelun tärkeys tulisi selväksi, on huomattava, että turbiinin roottori on hyvin painava, ja sen akselin nopeus on 7932 kierrosta minuutissa. Jos laakareiden kanssa ilmenisi ongelmia, on selvää, että näillä nopeuksilla sekä laakerit, että akseli kärsisivät mittavia vahinkoja hyvin pienessä ajassa. /9/

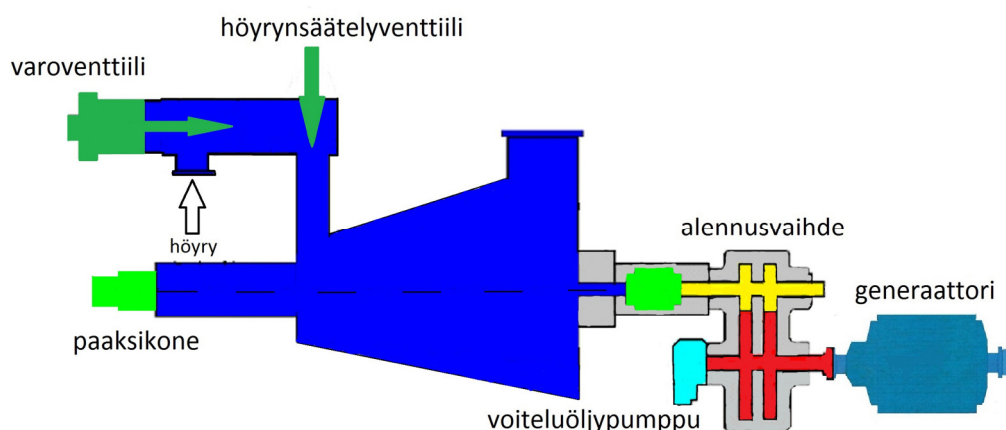
Voiteluöljypaineita ja –lämpötiloja tarkkaillaan tärkeissä paikoissa paikallisilla laitteilla samalla kun sensorit syöttävät samaa tietoa laivan automaatioon etäkäyttöä ja –valvontaa varten. Hälytyssignaalit sekä turbiinin pysäytyssignaalit syntyvät aina kun sensoreiden asetetut arvot saavutetaan tai ylitetään. /9/

Turbiinin pysäyttäminen roottorin liian suuren nopeuden takia saavutetaan joko mekaanisesti tai elektronisesti estämällä ohjausöljyn virtaus varoventtiiliin. Turbiinin elektroninen suojaus on säädetty niin, että se laukeaa, kun turbiinin nopeus ylittää normaaliarvon yhdeksällä prosentilla. Turbiinin mekaaninen suojaus sen sijaan on asetettu arvolle kymmenen prosenttia. Koska elektroninen suojaus laukeaa aina ennen mekaanista eikä mekaaninen suojaus välttämättä laukea koskaan, jos ei elektroniseen suojaukseen tule jotain vikaan, mekaaninen suojaus saattaa olla pitkiä aikoja ilman käyttöä. Tämän takia myös mekaanista suojausta täytyy testata ja huoltaa määrääjain. Lisäksi on suositeltavaa, että mekaaninen suojauslaite aktivoidaan manuaalisesti ennen jokaista turbiinin käynnistyskertaa. Suojauslaitteen käynnistys manuaalisesti käynnistää kolmisuuntaisen venttiilitestin, joka ei kuitenkaan estä höyryn virtausta turbiinin, ja ei täten häiritse turbiinin normaalia toimintaa. /9/

Varoventtiilin elektroninen laukaisu ei ole rajoitettu pelkästään roottorin ylinopeuteen. Kaikki olosuhteet, jotka edellyttävät turbiinin pysäyttämistä, kuten esimerkiksi signaalit turbiinin laakereiden lämpötiloja mittaavista sensoreista, lähettävät pysäytyssignaalin solenoidiventtiilille, joka estää ohjausöljyn virtaamisen varoventtiiliin. Tämän lisäksi ohjausjärjestelmän öljynpaineen laskemisen voi aiheuttaa esimerkiksi turvalaitteen aktivointi, putkiston ongelmat, öljypumppujen pysähtyminen, mikä myös aiheuttaa varoventtiilin sulkeutumisen eli höyryn virtaaminen turbiinille loppuu kokonaan. Liian korkea paine (vähintään 4 baria) turbiinin pakokaasuissa aiheuttaa myös turbiinin pysähtymisen. /9/

Manuaaliset hätäpysäytykset voidaan aktivoida myös joko turbiinin välittömässä läheisyydessä olevasta taulusta, valvomosta tai pääsähkötäuluhuoneesta. /9/

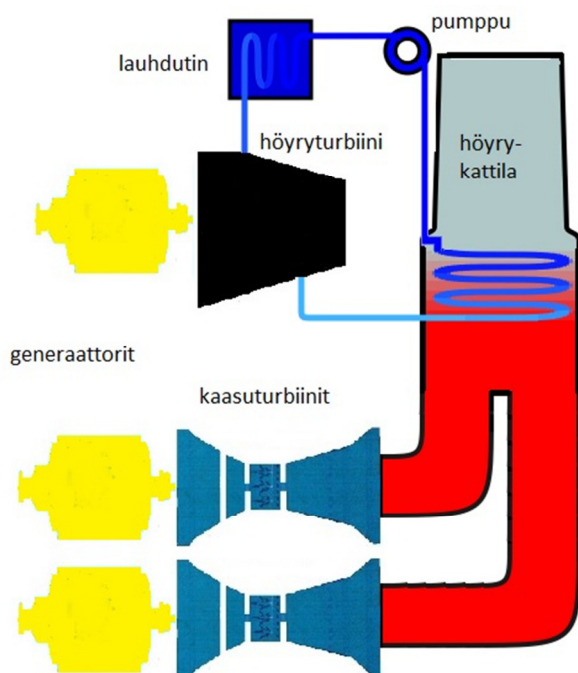
Moottorin pyörittämä Casatin paaksikone toimii yhteistyössä alennusvaihteiston kanssa. Sen päätarkoitus on pyörittää turbiinin roottoria hitaasti alkulämmön tai loppuviilennyksen aikana. On välttämätöntä, että turbiinin roottori pyörii sen lämmitessä tai viilentyessä, sillä muuten roottorin eri osat ovat erilämpöisiä, ja roottori saattaa vahingoittua. /9/



Kuva 5. Höyryturbiinigenaattoriyksikkö /9/

### 3.1.3 COGAS/COGES

COGAS eli yhdistetty kaasu ja höyry (engl. combined gas and steam) on voimalaitos, jossa käytetään sekä kaasua- että höyryturbiinia yhdessä. Kaasuturbiinin käytöstä vapautuneilla kuumilla pakokaasuilla käytetään höyryturbiinia, jolloin polttoaineen kulutusta saadaan pienennettyä ja hyötysuhdetta saadaan parannettua merkittävästi. Jos turbiinit eivät suoraan pyöritä potkuriakselia, vaan käytössä on turbosähkökoneisto, käytetään nimitystä COGES, ja tämä on siis mitä Jewel of the Seas käyttää. /7/



Kuva 6. COGAS-kaavio /1/

### 3.1.4 Dieselgeneraattorit

Apudieselgeneraattorin syötön tarkoituksena on taata lukuisien tärkeiden laitteiden, jotka ovat välttämättömiä laivan turvallisuuden kannalta, sähkön syöttö, mikäli kaasuturbiinigeneraattorien kanssa tulee ongelmia. Dieselmoottori pyörittää vaihtovirtageneraattoria. Moottori, vaihtovirtageneraattori, ja jäähdyttimet ovat yhteisellä pohjalla. Dieselmoottori on varustettu automaattisella ilmakäyttöisellä käynnistysjärjestelmällä. Käynnistysjärjestelmä mahdollistaa vähintään kolmen peräkkäisen käynnistysyrityksen. Generaattori on asetettu käynnistymään automaattisesti, mikäli ainoa käytössä oleva kaasuturbiinigeneraattori antaa hidastumishälytyksen, tai jos pääsähkötaulun syötön kanssa on ongelmia (sähkökatkos). Kun pääsähkötaulun syöttö on korjattu, dieselgeneraattori erotetaan pääsähkötaulusta automaattisesti, ja samalla se pysähtyy. Generaattori saa kaasuöljynsä kannen viisi kaasuöljytankista. Mikäli tankin kanssa ilmenee ongelmia, syöttöventtiili voidaan sulkea hydraulisesti huoneen ulkopuolelta. Ensi- ja toissijaisten makeavesijärjestelmien jäähdytys varmistetaan merivesipumpun avulla. Makeavesijärjestelmää varten on omat lämmittimet, jotta dieselmoottori on koko ajan valmis käynnistystä varten. /16/



Taulukko 5. Apudieselmoottori /16/

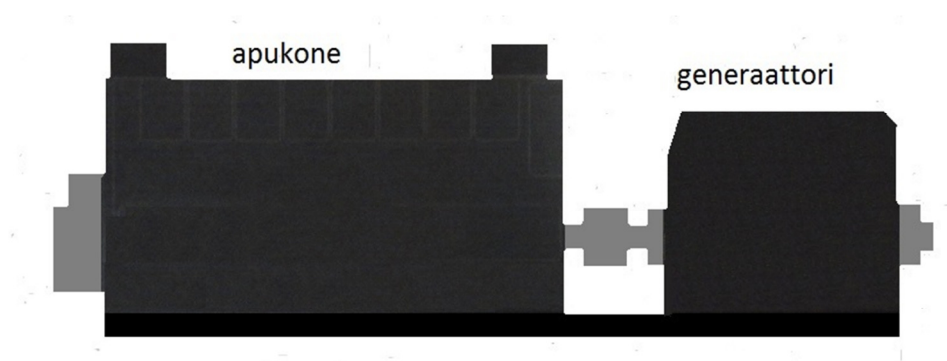
Valmistaja	ALSTOM-Paxman
Malli	18V185
Polttoaineen kulutus	noin 800 litraa dieselöljyä tunnissa

Taulukko 6. Vaihtovirtageneraattori /16/

Valmistaja	A. van Kaick
Malli	DIG 140 k/4
Nimellisteho	3750 kVA
Pätöteho	3000 kW
Hyötysuhde	0,8
Jännite/taajuus	11 kV/60 Hz
Jäähdytys	makea vesi

Generaattoriosa koostuu vaihtovirtageneraattorista, jota dieselmoottori pyörittää sekä moottorin pyörittämästä polttoainepumpusta, moottorin pyörittämästä voiteluöljypumpusta, moottorin pyörittämästä ensisijaisesta ja toissijaisesta vesipumpuista, ensisijaisesta ja toissijaisesta vedenlämmittimistä sekä jäähdyttimistä.

/16/



Kuva 7. Apudieselmoottori-generaattoriyksikkö. /16/

Hätädieselgeneraattori, hätädieselmoottori sekä niiden välinen yhdyskappale ovat kaikki kiinnitetty yhteiselle lavalle. Hätädieselmoottori on turboahdettu, nelitahtinen, vesijäähdytteinen ja varustettu suoraruiskulla. Toimintavarmuutta ajatellen siihen on

asennettu kaksi eri käynnistysjärjestelmää: yksi ilmalla toimiva ja kaksi sähköistä. Jäähdytysvesipumput, voiteluöljypumput sekä polttoainepumput ovat myös asennettu generaattorin lavalle. Makeaveden jäähdytys on varmistettu jäähdyttimellä. Hätädieselgeneraattori on suunniteltu syöttämään hätätaulua E10 mikäli normaali 690 V syöttö pääsähkötäulusta jostain syystä katkeaa. Hätätaulu E10 varmistaa 690 V ja 400 V/230 V 60 Hz syötön laivan turvallisuuden ja operoinnin kannalta välttämättömille laitteille. Hätätaulu sijaitsee hätägeneraattorin välittömässä läheisyydessä. /15/

Taulukko 7. Hätädieselmoottori /15/

Valmistaja	Mitsubishi
Malli	S12R-MPTA
Pätöteho	1060 kW
Nopeus	1800 rpm
Sylinterien lukumäärä	12

Hätägeneraattori on itsesäätöinen, harjaton vaihtovirtageneraattori integroidulla vierasmagnetoinnilla sekä kuparikäämeillä. Generaattorin roottoria kannattelee kaksi rullalaakeria, joita voitelulaite voitelee jatkuvasti. Tuuletusta varten generaattorissa on tuuletin, joka on kiinnitetty akseliin yhdyskappaleen puolella. Vaihtogeneraattorin tuottama energia kerätään jakorasiassa, joka sijaitsee generaattorin rungon yläpäässä. Vierasmagnetointi ja diodisilta sijaitsevat roottorin akselissa tuulettimen puoleisessa päässä. Automaattinen jännitteensäädin säätelee vierasmagnetoinnin virtaa. Jännitteensäädin sijaitsee generaattorin sisällä tuulettimen puoleisessa päässä. /15/

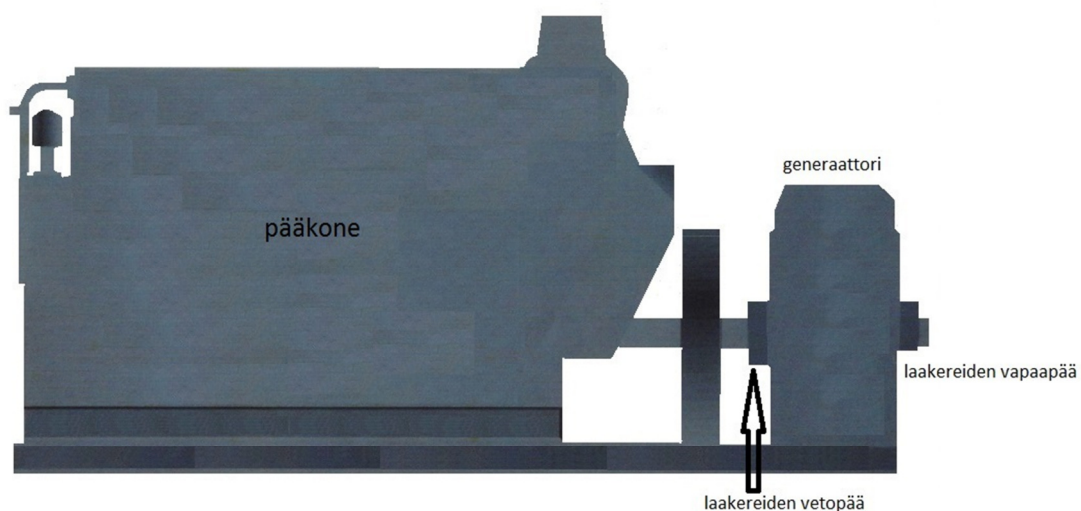
Taulukko 8. Hätägeneraattori /15/

Valmistaja	AvK Deutschland
Malli	DSG 74 L1-4
Pätöteho	1000 kW
Virta	1046 A
Jännite/taajuus	690 V, 3-vaihe/60 Hz
Hyötysuhde	0,8
Nopeus	1800 rpm

Jewelin ainoa normaalikäytössä oleva dieselmoottori on Wärsilän 16V38B, joka asennettiin laivaan vuonna 2007 taloudellisista syistä. Tämä turboahdettu nelitahtikone pyörittää ABB:n generaattoria, joka tuottaa n. 11000 kW nopeudella 600 rpm. Generaattorissa on kaksi akseliin asennettua tuuletinta, jotka puolestaan jäähdyttävät generaattoria jäähdyttävää vesijäähdytysjärjestelmää. Harjattomaan vierasmagnetointiin kuuluvat virtamuuntajat tehostimen vierasmagnetointia ja virran mittausta varten, sekä kaksitytiminen jännitemuuntaja mittausta ja vierasmagnetoinnin virtalähdettä varten. /20,21/

Taulukko 9. Dieselgeneraattori /21/

Valmistaja	ABB
Malli	AMG 1600SS12 LSE
Näennäisteho	18753 kVA
Virta	984 A
Jännite/taajuus	11 kV/60 Hz
Hyötysuhde	0,6
Nopeus	600 rpm



Kuva 8. Päädieselmoottori-generaattoriyksikkö

## 4 SÄHKÖOSASTO

Jewel in sähköosasto on yksi osa konepuolta, ja sen muodostavat sähköosaston päällikkö (engl. Chief Electrical Engineer), ensimmäinen sähkömestari (engl. 1st Electrical Engineer), kolme sähkömestaria (engl. Electrical Engineer) sekä neljä sähkömiestä (engl. Assistant Electrician). Sähköosaston päällikkö luonnollisesti johtaa koko osastoa ja ensimmäinen sähkömestari vastaa operatiivisesta puolesta. Tässä työssä keskityn näiden kolmen sähkömestareiden toimenkuvaan. Jokaiselle sähkömestarilla on omat vastualueensa ja päivystysvuoro vaihtuu päivittäin. Päivystyksen aikana apua saatetaan tarvita oman vastualueen ulkopuolelta, joten on syytä tuntea myös muiden mestareiden toimenkuva. Käytännössä apua joutuu silloin tällöin kysymään joko kyseisen vastualueen sähkömestarilta tai suoraan joko ensimmäiseltä sähkömestarilta tai sähköosaston päälliköltä.



Kuva 9. Jewel in sähköosaston hierarkia

Kolmen sähkömestarin vastuualueet jaetaan pääpiirteissään seuraavasti: hätävoima (engl. Electrical Engineer Emergency Power), ympäristö (Electrical Engineer Environmental) sekä elektroniikka (engl. Electrical Engineer Electronic). Näiden lisäksi laivalla olevat hissit jaetaan tasan sähkömestarien kesken. Päivystysvuoron aikana sähkömestarin täytyy olla konehuoneen valvomossa aina kun manööverataan eli silloin, kun saavutaan satamaan tai lähdetään satamasta. Lisäksi päivystykseen kuuluvat päivittäiset kierrokset, joissa tarkistetaan laivan kannalta elintärkeiden järjestelmien kunto:

- dieselgeneraattorit
- pääkeskukset ja sähköasemat
- hissikoneistohuoneet
- suoja-akkuhuoneet
- kaikki koneiden ja merenkulun laitteiden UPS-järjestelmät
- ohjauslaite- ja syklokonvertterihuoneet
- päivittäiset ICCP-lukemien ylöskirjaaminen
- valvomon ja komentosillan lokikirjan päivittäminen
- maadoitusjärjestelmät

Sähkömestari 06:n (elektroniikka) vastuualueet ovat:

- palohälytínjärjestelmä, mukaanlukien palo-ovet ja palorajoittimet
- kuulutusjärjestelmä mukaanlukien sen UPS-järjestelmä
- valvontakamerat
- puhelinvaihte mukaanlukien sen UPS-järjestelmä
- muut sisäiset viestintäjärjestelmät
- komentosillan kalusto
- hiilidioksiidijärjestelmä (konehuoneen palontorjuntajärjestelmä)
- vesitiiviit ovet
- vesisumujärjestelmä
- hissit 5,7,10,11,14,17
- uima- ja porealtaat
- matkustajahyttien sähkölaitteet
- hätäpuhelujärjestelmä
- automaattiset ovet ja verhot

Sähkömestari 34:n (häätävoima) vastuualueet ovat:

- hätägeneraattorit sekä muut generaattorit
- hätäsähkökeskukset sekä suojasähkökeskukset
- koneiden, merenkulun laitteiden sekä hotellipuolen UPS-järjestelmät
- maadoituksen vikatarkkailujärjestelmä
- pelastusveneiden sähköasennukset
- kuormaovet
- laiturihissit
- ankkurointivinssit
- nosturit
- hissit 1,2,3,12,13,18
- kanttiinien, pentterien, baarien sekä muonitushuoneiden sähköasennukset

Sähkömestari 35:n (ympäristö) vastuualueet ovat:

- juomaveden käsittelylaitos
- mustan/harmaan veden käsittelylaitos
- jätteenpolttolaitokset
- jätteenkäsittelylaitteet
- säiliötasojen valvontajärjestelmä
- pilssiveden puhdistamo
- muut ympäristöön liittyvät järjestelmät
- märkäjätejärjestelmä
- hissit 4,6,8,9,15,16
- pesulat
- kylpylän laitteet
- haarukkanosturit

#### 4.1 Yleistä työturvallisuudesta

Sähkötyöt pyritään tekemään jännitteettömänä aina kun mahdollista, mutta joskus tilanne vaatii sen, että kohteessa pitää työskennellä ilman, että jännitettä voidaan katkaista. Jännitetyössä käytetään Suomen sähköturvallisuusstandardista tuttuja vaihteita:

1. täydellinen erottaminen
2. jännitteen kytkemisen estäminen
3. jännitteettömyyden toteaminen
4. työmaadoitus
5. suojaus lähellä olevilta jännitteisiltä osilta /18/

Kun tehdään jännitetöitä, tai muita mahdollisesti vaarallisia töitä, pitää vastaavan mestarin täyttää työturvallisuusanalyysi JSA (engl. Job Safety Analysis), josta käy ilmi kaikki mahdolliset riskit ja miten niiltä vältytään. Analyysin tulee allekirjoittaa kaikki työhön osallistuvat henkilöt, sekä sähköosaston johtaja ja ensimmäinen sähkömestari sen jälkeen, kun he ovat käyneet läpi analyysin sekä arvioineet sen.

JSA:n lisäksi vastaavan mestarin pitää hankkia erillinen työlupa, ja molemmat paperit tulee olla mukana työtä suoritettaessa.

Muita esimerkkejä vaarallisista töistä ovat esimerkiksi hissien huoltaminen sekä yli kahden metrin korkeudessa työskentely. Suurjännitetöitä varten on jokaisessa sähkötauluhuoneessa kasv suoja, maadoituskaapeli sekä kerran vuodessa uusittavat ja testattavat jännitetyöhanskat. Yksi työnantajan työntekijöiltään vaatimista kursseista on ABB:n Suomessa järjestämä suurjännitekurssi, jonka yksi pääaiheista on nimenomaan työturvallisuus suurjännitetöissä. Lisäksi jokaisella laivan osastolla on oma minimääränsä työturvallisuushavaintoja, jotka kirjataan ylös ja käydään läpi jokaisen kuukauden lopussa olevassa työturvallisuuskokouksessa.

## 5 SÄHKÖNJAKELU

Normaaleissa meriolosuhteissa sähkö tuotetaan joko yhdellä tai kahdella kaasuturbiinin avulla toimivalla generaattorilla (GTG1 ja GTG2), jotka tuottavat 25 MW ja 11 kV 3-vaihejännitettä, ja yhdellä höyryturbiinin avulla toimivalla generaattorilla (STG), joka tuottaa 9 MW. Sähköisten järjestelmien käynnistämistä varten on yksi dieselgeneraattori (ADG), joka tuottaa noin 3 MW. 11 kV:n jännite syötetään pääsähkötäuluista M10 (styyrpuurin puolella) ja M20 (paapuurin puolella). /13/

Normaalisti, kun laiva on laiturissa, kaikki turbiinit ovat pois käytöstä ja sähköä tuottaa ainoastaan yksi 11 MW:n dieselgeneraattori (DG), joka asennettiin laivaan rakentamisen jo valmistuttua vuonna 2007. Kaasuturbiinien käyttö osakuormalla on kaukana taloudellisesta, joten erilaiselle ratkaisulle oli tarvetta. Joskus saattaa kuitenkin olla, että tämä dieselgeneraattori yksinään ei riitä tuottamaan tarpeeksi sähköä, jolloin tarvitaan yhtä tai useampaa turbiinia. Päätöksen ylimääräisten generaattorien käytöstä tekee konepäällikkö. /13/

Laivan lisälaitteet saavat jännitteensä laivan lukuisista muuntajista:

- 11 kV/690 V muuntajat (ER TRS 1 – ER TRS 4) syöttävät konehuoneen 690 V sähköasemia (ME10 ja ME20)
- 11 kV/690 V/400 V muuntajat (MD20 – MD70) syöttävät eri paloalueiden virtakiskoja
- 11 kV/208 V muuntaja syöttää teatterin sähkötäulua MD29
- 11 kV/690 V muuntajat (EM TRS 1 ja 2) ovat hätätäulua E10 varten
- 690 V/400 V muuntajat syöttävät konehuoneen valaistusta
- 690 V/400 V muuntajat syöttävät hätävalaistusta koko laivassa
- 690 V/450 V muuntaja syöttää työpajojen pistokkeita
- 690 V/450 V muuntajat syöttää pesulaa
- konehuoneen 690 V sähköasemat ME10 ja ME20 syöttävät konehuoneen lisälaitteita
- 690 V hätätäulu E10 syöttää laitteita, jotka ovat välttämättömiä laivan turvallisuuden kannalta



- kanttiinien 450 V sähköasema GD10 syöttää kanttiinien pistokkeita, sekä sisältää yhteyden maasyöttöä varten
- hätätaulun 400 V osan muodostaa UPS-järjestelmä /13/

Laivan sähköverkko tuottaa seuraavia jännitteitä:

- 11 kV, 60 Hz, kolmivaihe, suurjännitettä tarvitseville laitteille
- 690 V, 60 Hz, kolmivaihe, keskisuurta jännitettä tarvitseville laitteille kuten moottorit ja lämmittimet esimerkiksi
- 450 V, 60 Hz, kolmivaihe, ainoastaan pääkanttiinille, pesulalle sekä työpajoille
- 400 V, 60 Hz, maadoitettu, käytetty yksivaiheisena 230 V normaalille sekä hätävalaistukselle, pienempää jännitettä tarvitseville laitteille sekä laivan eri puolilla oleville pistorasioille
- 208/120 V, 60 Hz, maadoitettu, pääosin hyttien ja toimisto- ja työtilojen pistorasioille
- 24 V automaation hälytysjärjestelmälle
- Akkulaturit (24 VDC) syöttävät hätä dieselkonetta, hätätaulua sekä kaasuturbiinin ohjausyksikköä. UPS-järjestelmät (208/120 V AC sekä 400/230 V AC) syöttävät merenkulun laitteita sekä laivan tietokoneita sekä palvelimia. /13/

Pääsähkötaulu jaetaan kolmeen eri osaan ja se sijaitsee kahdessa eri huoneessa:

Pääsähkötaulu M10 jaetaan kahteen osaan: ensimmäisen osan syöttö tulee ensimmäisestä kaasuturbiinigeneraattorista (GTG1) ja dieselgeneraattorista (DG) ja toisen osan apudieselgeneraattorista (ADG). Osat voidaan tarvittaessa kytkeä toisiinsa, ja siirtolinjan yhteyspiste kolmanteen osaan, pääsähkötaulu M20:een, on jälkimmäisessä osassa. Ensimmäisessä osassa on myös oikosulkuvirran rajoitin, joka tarvittaessa katkaisee sähkötaulut kahteen osaan oikosulun sattuessa, kun sähkötaulut on yhdistetty toisiinsa. /13/

Kolmas osa, eli pääsähkötaulu M20, saa syöttönsä toisesta kaasuturbiinigeneraattorista (GTG2) sekä höyryturbiinigeneraattorista (STG), ja siinä sijaitsee pääsähkötaulujen M10 ja M20 välisen siirtolinjan virrankatkaisija. /13/

Seitsemää sähkömoottoria syötetään 11 kV:n verkosta:

- yksi keulapotkuri (BT2) ja kaksi AC-kompressoria (AC1 ja AC2) saavat syöttönsä pääsähkötaulusta M10
- kaksi keulapotkuri (BT1 ja BT3) ja kaksi AC-kompressoria (AC3 ja AC4) saavat syöttönsä pääsähkötaulusta M20 /13/

Konehuoneen 690 voltin muuntoasema on jaettu neljään osaan. ER jakokeskus ME10 saa syöttönsä ER muuntajista 1 ja 2, ja ER jakokeskus ME20 saa syöttönsä ER muuntajista 3 ja 4. Jokainen näistä konehuoneen 11 kV/690 V muuntajista tuottaa 1800 kVA. ME10 ja ME20 ovat yhdistettyjä moottorinohjauskeskuksia (MCC) sekä jakokeskuksia (690 V, 400 V, 450 V). Konehuoneen moottorikontrollikeskukset integroituine 690 V jakokeskuksineen saavat syöttönsä näiltä muuntokeskuksilta ja ne sijaitsevat lähellä kuluttajiaan konehuoneessa. /13/

Jokaisella paloalueella on oma muuntoasemansa, joka syöttää pelkästään tiettyä paloaluetta. Majoitusten syöttö hoidetaan päämuuntoasemien MD20 – MD70 avulla, jotka sijaitsevat ylemmillä kansilla, ja jotka on varustettu 11000-690-400 V/230 V ja 690-208/120 V muuntajilla. Sähkön jakelu päätepisteisiin hoidetaan pääasiassa virtakiskojen avulla. Neljä pääkiskoa (690 V, 208 V ja kaksi 400 V) ovat asennettu pareittain pystysuoraan. Ne saavat syöttönsä paloalueiden omilta muuntajilta. Näiden neljän kiskon lisäksi pystysuoraan kulkee kaksi kiskoa hätävalaistusta varten, joista toista syötetään hätätaulusta, ja toista turvataulusta. Sähkön jakelu hytteihin on hoidettu vaakasuoraan asennettujen kiskojen avulla. /13/

Kanttiinin sähköasema GD10 sijaitsee lähellä pääkanttiinia, ja se on jaettu kahteen osaan. Molemmat osat saavat syöttönsä 11 kV/450 V muuntajasta (GD TRS 1 ja 2). Molemmissa osissa on myös oma yhteytensä maasyöttöä varten. /13/

Hätätaulun E10 syöttö hoidetaan molemmista päätauluista M10 ja M20 kahden 11 kV/690 V muuntajan avulla (EM TRS 1 ja 2). Syötön virrankatkaisijat ovat liitetty yhteen. /13/

Koneisto, kanttiini ja eri kansien sähköasemat 2-7 sekä hätätaulu voidaan tarvittaessa kytkeä niin, että ne saavat syöttönsä molemmista päätauluista M10 ja M20. /13/

Molemmille propulsion sähkömoottorille ovat omat kaksi 11 kV syöttömuuntajaa sekä yksi muuntaja niiden lisälaitteille. Lisälaitteiden muuntaja syöttää propulsion omien sähkömoottoreiden vierasmagnetointia sekä niiden muita laitteita (pumppuja jne.). /13/

Pääsähköverkkoa kontrolloidaan joko automaattimoodissa laivan automaation avulla tai manuaalimoodissa laivan automaation kautta tai 11 kV pääsähkötauluista. Moodista toiseen voidaan siirtyä joko valvomossa sijaitsevan automaatiohallinnan tai pääsähkötauluissa sijaitsevan kytkimen kautta. Normaaleissa olosuhteissa molemmat 11 kV pääsähkötaulut, kuten myös kaikki generaattorit, ovat automaattimoodissa eli automaation hallinnassa, jolloin tietokone hoitaa hienosäädön. /13/

## 6 GENERAATTORIEN HUOLTO

Generaattorit ovat välttämättömiä laivan toiminnan kannalta, joten niiden huoltamiseen, ja ongelmien ennaltaehkäisyyn käytetään paljon aikaa ja vaivaa. Suurin osa kunnossapitotöistä liittyy automaatiohälytysten testaamiseen, sillä valvomon vahtimestarin on aina tiedettävä generaattorien tila ja niitä on tarvittaessa pystyttävä myös ohjaamaan ongelmitta. Aina kun generaattoreita testataan, pitää toimenpiteeseen pyytää lupa valvomosta, sillä testejä suoritettaessa aiheutetaan yleensä usempia hälytyksiä laivan Valmarin-automaatiojärjestelmässä.

Kun testataan automaation ja generaattorien välistä kommunikointia, ei ole väliä onko kyse kaasuturbiini- tai dieselgeneraattoreista tai höyryturbiinigeneraattorista, periaate on aina sama. Jos kontaktorissa on avautuva kosketin, se avataan, tai jos kontaktorissa on sulkeutuva kosketin, se suljetaan. Jokaisessa tapauksessa automaatio ilmoittaa valvomoon kontaktorin tilan muutoksesta, joten joka kohtaa testatessa pitää luonnollisesti varmistaa valvomosta automaation oikea toiminta. Esimerkkejä hätägeneraattorin hälytyksistä, jotka testataan yllä mainitulla tavalla:

- polttoainevuoto
- käynnistyksen epäonnistuminen
- yhden tai useamman sulakkeen palaminen

Generaattoreiden toimintaa tukemassa on lukuisia moottoreita, joiden testaaminen kuuluu myös sähkömestareiden toimenkuvaan. Näiden moottorien testaamisen kuuluu tärinän mittaust, eli laakereiden kunto, sekä lämpötila ja Megger-testi. Laakerit testataan SPM Instrumentin mittarilla, joka toimii iskupulssimenetelmän avulla. Mittari yksinkertaisesti kytketään moottorin molempiin päihin, ja otetaan dBm-, dBc- sekä lämpötilamittaukset. Tärinämittausten tuloksia tulee verrata edellisen testin, joka on yleensä joko kuukauden, kolmen kuukauden tai kuuden kuukauden takaa, tuloksiin, ja jos heittoa on yli kymmenen prosenttia, tulee ryhtyä toimenpiteisiin.

Testattaviin moottoreihin kuuluvat esimerkiksi:

- generaattorien tuulettimien moottorit
- generaattorien polttoainemoottorit
- generaattorien voiteluöljymoottorit
- generaattorien hydraulisten aktuaattorien moottorit

Puolen vuoden välein tulee testata kaikkien generaattoreiden UPS-järjestelmien akut. Testi aloitetaan sulkemalla UPS-järjestelmien syöttö, ja syöttö pidetään pois päältä puolen tunnin ajan. Akkujen jännitetaso tulee kirjata ylös viiden minuutin välein, ja mikäli jännitetaso putoaa vähemmän kuin 12% alkuperäisesti, on testi hyväksytty eikä akkujen vaihdolle ole tarvetta.

Lisäksi generaattoreiden huoneiden hätävalaistus tulee testata määräajoin. Sähkökatkon sattuessa on ensiarvoisen tärkeää, että huoneissa on tarvittava valaistus huoltotöitä varten.

Yksi tärkeä generaattorien huoltotoimenpide on laakereiden rasvaus, joka suoritetaan kerran vuodessa. Tämäkin on sähkömestareiden vastuulla, vaikka se ei varsinaisesti sähkötöitä olekaan.

Kaikkia generaattoreja huoltaessa tulee aina tarkistaa kaikki sähköliitokset, kiinnitykset ja suojaukset sekä liitäntänapojen tiukkuus kytkentärasioissa. Lisäksi tulee tarkistaa silmämääräisesti ettei löydy yhtään tärinän aiheuttamia kulumia. Kaikkien sensoreiden ja instrumentaatioiden tulee olla tarpeeksi hyvin kiinni etteivät ne pääse irtoamaan tärinän takia.

## 6.1 Dieselgeneraattorien huolto

Dieselgeneraattoreiden testaamiseen kuuluu myös laakereiden lämpötilan automaatiohälytyksen testaaminen. Tämä tapahtuu käytännössä niin, että hälytyksen alarajaa (normaalisti 85-90 celsius-astetta) lasketaan laakereiden lämpötilan alapuolelle (normaalisti 30-32 celsius-astetta), jolloin automaatio antaa välittömästi hälytyksen mikäli kaikki on järjestelmän puolesta kunnossa. Hälytys kuitataan ja hälytyksen alaraja palautetaan alkuperäiseen arvoonsa. Lopuksi laakereiden lämpötila mitataan paikan päällä, ja jos mitattu lämpötila vastaa automaation ilmoittamaa lämpötilaa, riittää sensorin tarkistamiseksi silmämääräinen tarkistus.

Dieselgeneraattorien ensi- ja toissijainen vesijäähdytys sekä voiteluöljyjärjestelmä testataan kuukausittain. Jäähdytysveden sekä voiteluöljyn lämpötilan automaatiohälytys testataan samalla tavalla kuten laakereiden tapauksessa sekä lopuksi lämpötila varmistetaan itse mittaamalla. Vesijäähdytyksen paine testataan sulkemalla jäähdytyksen venttiili, ja lisäämällä järjestelmään kannettava pumppu, jonka digitaalinen näyttö kertoo käytettävän paineen tarkasti. Molemmat jäähdytykset testataan erikseen ensin tyhjänä (0 bar) ja lopuksi täydellä paineella (4 bar). Voiteluöljyn vastaavat paineet ovat 0 ja 10 bar. Jos paineet vastaavat automaation ilmoittamia paineita, riittää kun tarkistaa sensorit silmämääräisesti vuotojen yms. varalta.

Dieselgeneraattorin automaattista pysäytysjärjestelmää testatessa jokainen kohta tulee testata vähintään kerran vuodessa simuloimalla joko pysäytyspistettä korkeampi tai pienempi arvo, kohdasta riippuen.

Taulukko 20. Dieselgeneraattorin automaattisen pysäytysjärjestelmän testaus

Kohde	Automaattisen pysäytyksen raja-arvo
Päälaakereiden lämpötila	> 120C
Sylinterin lämpötila	> 180C
Vaihtovirtageneraattorin vapaan pään laakereiden lämpötila	> 100C
Vaihtovirtageneraattorin voiman ulosoton pään laakereiden lämpötila	> 100C
Vaihtovirtageneraattorin käämien lämpötula	> 155C
Dieselgeneraattorihuoneen ylipaine	> 3 Mbar
Dieselgeneraattorihuoneen alipaine	< -3 Mbar
Vauhtipyörän ylinopeus	> 660 RPM
Nokka-akselin ylinopeus	> 660 RPM
Varmistuksen ylinopeus	> 690 RPM
Voiteluöljyn paine	< 1.8 BAR

Lisäksi esimerkiksi käynnistysongelmia, oikosulkua sekä paikallista pysäytystä testataan päällä/pois-periaatteella. Generaattoreiden hallintapaneelien vara-akut tulee testata kannettavalle testauslaitteella, ja testin hylätyt akut tulee vaihtaa uusiin.

Dieselgeneraattorien silmämääräisten tarkastusten suoritustapa:

1. Tarkista staattorin ja roottorin jännite- ja virtamuuntajat silmämääräisesti
2. Tarkista generaattorin sisäpuolen puhtaus ja puhdisti jos siihen on tarvetta
3. Tarkista sähköisten liitosten kunto
4. Tarkista apujärjestelmien liitäntäpaneeli
5. Tarkista maadoitusharjat
6. Tarkista vierasmagnetoinnin liitäntä
7. Tarkista lämmittimet

ADG:n kuormatesti rinnan kaasuturbiinigeneraattorin kanssa:

1. Laivan automaatio asetettu satama-moodiin, toinen kaasuturbiineista käytössä, propulsioon pysäytetty, keulapotkurit pysäytetty
2. ADG:n hallintapaneelin kytketty etäkäyttöä varten
3. ADG:n kuormatestivipu päällä-asentoon pääsähkötaulussa
4. Käynnistä ADG automaation avulla
5. Säädä ADG:n nopeutta generaattorin nopeuskytkimen avulla kunnes synkroskooppi pyörii hitaasti myötäpäivään
6. Aloita synkronointi kääntämällä ADG:n synkronointivipu pääsähkötaulussa aloitus-asentoon
7. Kun virrankatkaisija on suljettu, aseta generaattori vaadittuun megawattiarvoon nopeuskytkimen avulla
8. Kun kuormatesti on päättynyt, poista ADG:n kuorma ja avaa virrankatkaisija kääntämällä synkronointivipu pois päältä ja lukittu-asentoon
9. Aseta generaattorin nopeus manuaalisesti noin 61 Herziin
10. Käännä ADG:n kuormatestivipu pois päältä-asentoon pääsähkötaulussa
11. Pysäytä ADG automaation avulla sopivan viilennysajan jälkeen

Dieselgeneraattorin erottaminen /12/

1. Työlupa täytetty ja allekirjoitettu. Ilmoita toimenpiteestä vahdissa olevalle mestarille valvomoon.
2. Paina DG:n hätäpysäytysnappulaa valvomossa
3. Sulje DG:n ilmakompressorin venttiili ja lukitse venttiili
4. Käännä pysäytä/käynnistä vipu pysäytä-asentoon koneen ohjaustaulussa
5. Paaksikone pois päältä. Aseta "miehiä työssä"-kyltti paaksikoneen ohjausvivun päälle.
6. Paaksikoneen syötön virrankatkaisija paneelissa ME19P1 auki.
7. Vierasmagnetoinnin virrankatkaisija pääsähkötaulussa M10 auki
8. Dieselgeneraattorin korkeajännitevirrankatkaisija pääsähkötaulun paneelissa M10P18 testiasentoon
9. Maadoita generaattorin syöttö pääsähkötaulussa M10P18 ja lukitse maadoituskytkin.



10. Lämmittimen kytkin paneelissa M10P18 pois päältä-asentoon.
11. Lämmittimen virrankatkaisija paneelissa M10P18 auki.
12. Aseta miehiä työssä-kyltti dieselgeneraattorin osalle pääsähkötaulussa M10P18
13. Ennen työn aloittamista tulee käyttää jännitteenkoetinta ja todeta, ettei generaattorin eikä sähkötaulun puolella ole jännitettä
14. Ennen työn aloittamista tulee käyttää myös kannettaa maadoituslaitetta generaattorin terminaaleille
15. Tarkista, ettei generaattorin sisällä ole minkäänlaista jännitettä

## 6.2 Kaasuturbiinigeneraattorien huolto

Kaasuturbiinigeneraattorien pysäytysjärjestelmä testataan seuraavin askelin:

1. Tarkista, että kaikki UV-sensorit ovat hyvässä kunnossa
2. Puhdista jokaisen sensorin linssi öljystä ja liasta, käytä ainoastaan hyväksytyjä kemikaaleja.
3. Tarkasta, ettei palonhallintapaneelissa ole merkkejä epänormaalia toiminnasta
4. Palohälyttimet tulee testata jokaisen puhdistuskerran jälkeen, jotta varmistutaan siitä, ettei puhdistus ole vaikuttanut niiden toimintakykyyn.

Kaasuturbiinigeneraattorien huolto aloitetaan tarkastamalla akselin maadoitusharja. Maadoitusharja tulee korvata uudella, kun se on kulunut kolmasosaan alkuperäisestä pituudesta, eli kun harjan pituus on enää 14mm. Seuraavaksi tarkastetaan ilman tuloaukon tiiviste ja varmistetaan, että öljy ja lika eivät pääse koneen kotelon sisälle. Voidellaan luukun saranat ja salvat öljyllä, jolla varmistetaan niiden normaali toiminta. Sylinterilukkojen kanssa tulee käyttää kuivaa hiilikuivavoiteluainetta. Seuraavana askeleena puhdistetaan ilman tulo- ja menoaukkojen verkot perusteellisesti, ja etsitään kotelon tiivisteestä merkkejä veden tai pölyn vuodoista. Mahdolliset vuodot täytyy tukita, jolloin tiiviste tulee uusia. Lopuksi tarkistetaan voiteluöljyn taso.

Kaasuturbiinien sähköisen roottorin maavuototarkkailujärjestelmä testataan painamalla testauspainiketta ja testaamalla järjestelmän toimivuus. Poistetaan kaikki pyörivään tasasuuntaajaan sekä vierasmagnetointiin kerääntynyt pöly. Tarkistetaan kaikki sähköiset liitokset ja kiristetään tarvittaessa. Kaikki roottorin napoihin kerääntynyt lika tulee poistaa.

Roottorin käämeihin kerääntynyt lika/pöly pölynimurilla tulee poistaa pienellä harjalla sekä nukattomalla rätillä jotta saadaan yhdenmukainen tila halkaisijan molemmin puolin. Puhdistuksessa täytyy olla huolellinen ettei vahingossa työnnä epäpuhtauksia syvemmälle käämeihin.

Staattorin huolto aloitetaan tarkastamalla käämit ja puhdistamalla pöly sekä liika rasva. Puhdistettaessa tulee käyttää imuria, harjoja sekä nukatonta rättiä. Jos lika tuntuu irtoavan huonosti, voi käyttää puhdistusöljyä mutta sen kanssa täytyy olla varovainen. Käämejä puhdistettaessa täytyy olla huolellinen ettei pelkästään työnnä epäpuhtauksia pidemmälle käämeihin.

Seuraavaksi tarkistetaan laakareiden eristyksen resistanssi. Generaattorin säiliö tulee täyttää vedellä ja tarkasta, että kelluva katkaisija toimii normaalisti. Lopuksi säiliö tyhjennetään vedestä.

Lopuksi puhdistetaan tai tarvittaessa vaihdetaan generaattorin kuomun ilmansuodatin uuteen, ja tarkistetaan sekä mekaanisten että sähköisten suojausjärjestelmien oikea toiminta. Viimeinen askel on tarkistaa roottorin käämien eristysten resistanssi 500 voltin Megger-testillä. Ennen testin aloittamista tulee irroittaa roottorin lähetinyksikkö välttääksesi vahingoittamasta yksikköä sekä väärästä Megger-testin tuloksesta.

Kaasuturbiinigeneraattorin #1 erottaminen /10/

1. Työlupa täytetty ja allekirjoitettu. Ilmoita toimenpiteestä vahdissa olevalle mestarille valvomoon.
2. Kyltti ”kaasuturbiinigeneraattori pois käytöstä” esille valvomossa

3. Kaasuturbiinigeneraattorin hydraulisen starttimoottorin virrankatkaisija auki, lukitse ja aseta kyltti
4. Virrankatkaisija M10-10Q0 pääsähkötaulussa M10P10 testiasentoon
5. Maadoita kaasuturbiinigeneraattorin syöttö pääsähkötaulussa ja aseta kyltti
6. Ennen työn aloittamista tulee käyttää jännitteenkoetinta ja todeta, ettei generaattorin eikä sähkötaulun puolella ole jännitettä
7. Ennen työn aloittamista tulee käyttää myös kannettaa maadoituslaitetta generaattorin terminaaleille
8. Tarkista, ettei generaattorin sisällä ole minkäänlaista jännitettä

### 6.3 Höyryturbiinigeneraattorin huolto

Höyryturbiinigeneraattorin ilmanvaihdon hälytyksiä testaus aloitetaan yhdistämällä simulaattori sensoriin, simuloidaan raja-arvoja korkeampi arvo ja verrataan simuloitua arvoa automaation ilmoittamaan arvoon. Sen jälkeen yhdistetään simulaattori suoraan automaatioon, simuloidaan raja-arvoja korkeampi arvo ja tarkistetaan automaation aloittama tehtävä.

Taulukko 31. Höyryturbiinigeneraattorin ilmanvaihdon lämpötilarajat

Moottorin pää	Lämpötila
Voiman ulosotto, hälytys	60 C
Voiman ulosotto, hätäsammutus	68 C
Vapaa, hälytys	60 C
Vapaa, hätäsammutus	68 C

Taulukko 42. Höryturbiinigeneraattorin käämien lämpötilarajat

Käämi	Lämpötila
Käämi A, hälytys	130 C
Käämi A, hätäsammutus	150 C
Käämi B, hälytys	130 C
Käämi B, hätäsammutus	150 C
Käämi C, hälytys	130 C
Käämi C, hätäsammutus	150 C

Ilmaputkia tarkistettaessa tulee varmistua, että laakereiden öljytiiviste ei vuoda. Kaikki pyörivään tasasuuntaajaan sekä vierasmagnetointiin. kerääntynyt pöly tulee poistaa. Kaikki sähköliitännät tulee tarkistaa. Roottorin napoihin kerääntynyt lika/pöly pitää poista tarkasti. Tasasuuntaajaan kerääntynyt pöly/lika tulee puhdistaa. Roottorin käämit tulee imuroida, harjata ja kuivata molemmin puolin varovasti, etteivät epäpuhtaudet siirry sisemmäs käämejä pitkin. Pöly ja rasva tulee poistaa staattorin käämeistä imurilla, harjalla ja räteillä. Liukurenkaiden puhtaus tulee tarkistaa sekä niiden harjat tulee tarkistaa kulumien varalta. Liukurenkaiden ja uloimman kiskorenkkaan välinen resistanssi tulee mitata laitteella, jolla voidaan tarkasti mitata pieniä resistansseja.

#### Hörygeneraattorin maadoitus /11/

1. Työlupa täytetty ja allekirjoitettu. Ilmoita toimenpiteestä vahdissa olevalle mestarille valvomoon.
2. Kyltti ”hörygeneraattori pois käytöstä” esille valvomossa
3. Sulje hörygeneraattorin pääventtiili ja lukitse se
4. Höryturbiinin paaksikoneen vipu pysäytysasentoon ohjauspaneelissa
5. Höryturbiinin paaksikoneen virrankatkaisija auki sähkötaulun ME14 paneelissa 2 ja aseta kyltti esille.
6. Höryturbiinigeneraattorin virrankatkaisija testiasentoon pääsähkötaulussa M20P05
7. Maadoita höryturbiinigeneraattorin syöttö pääsähkötaulussa M20P05

HUOMIO: Odota viisi minuuttia paaksikoneen pysäyttämisen jälkeen ennen kuin maadoituskytkimen voi sulkea.

8. Aseta miehiä työssä-kyltti höyryturbiinigeneraattorin osalle pääsähkötaulussa M20P05
9. Ennen työn aloittamista tulee käyttää jännitteenkoetinta ja todeta, ettei generaattorin eikä sähkötaulun puolella ole jännitettä
10. Ennen työn aloittamista tulee käyttää myös kannettavaa maadoituslaitetta generaattorin terminaaleille
11. Tarkista, ettei generaattorin sisällä ole minkäänlaista jännitettä

## 7 SÄHKÖNJAKELUN HUOLTO

Sähkönjakelulaitteiden huoltoon ja ongelmien ennaltaehkäisyyn ei käytetä lähellekään niin paljon aikaa ja vaivaa, kuin sähköä tuottavien laitteiden huoltoon, vaikka laivan toiminnan kannalta molemmat ovat lähes yhtä tärkeitä. Tämä yksinkertaisesti siksi, että generaattorit tarvitsevat paljon enemmän huoltoa liikkuvien osiensa takia, kuin esimerkiksi muuntajat ja sähkötaulut. Kaikki tärkeimmät muuntajat kuitenkin tarkastetaan kuukausittain noudattaen samoja ohjeita. Aluksi muuntaja ja sen jäähdytys tarkastetaan silmämääräisesti, tarvittaessa käytetään imuria, ja tarkistetaan kaikki liitännät. Laivan värinän takia on aina vaara, että johdot pääsevät löystymään.

Lopuksi testataan automaatiohälytystä jokaisen vaiheen lämpötilan kohdalla. Aluksi vaihdetaan hälytyksen alaraja oikean lämpötilan alle ja varmistetaan, että automaatio antaa hälytyksen. Kun hälytyksen rajat on palautettu alkuperäisiksi, siirrytään takaisin muuntajalle. Lämpötilan sensorit irrotetaan, ja samalla ne voidaan tarkastaa mahdollisten vaurioiden varalta, ja ne yhdistetään kannettavaan simulaattoriin, jolla voidaan simuloida korkeita lämpötiloja. Simuloidaan lämpötilahälytyksen alarajaa korkeampia arvoja, ja varmistetaan valvomosta, että automaatio antaa hälytykset. Kaiken ollessa kunnossa sensorit palautetaan alkuperäisiin paikkoihinsa ja samalla tulee niiden kiinnitys tarkastettua.

Sähkötaulujen määräaikainen huolto rajoittuu oikeastaan niitä syöttävien UPS-laitteiden akkujen testaukseen, joka tehdään kerran kolmessa kuukaudessa. Testi aloitetaan kytkemällä Synpol D UPS-järjestelmän syöttö pois päältä, jonka jälkeen akkujen jännitetaso kirjataan ylös viiden minuutin välein puolen tunnin ajan lähtötason ollessa 24 VDC. Testi tulee keskeyttää, jos akkujen jännitetaso putoaa alle tason 20 VDC, ja vialliset akut tulee korvata uusilla.

Myös laivan kaikki muutkin UPS-järjestelmät mitataan samalla tavalla, järjestelmästä riippuen joko kerran kolmessa tai kuudessa kuukaudessa. SOLAS sallii akuille maksimissaan 12% jännitteenlaskun puolen tunnin aikana.

Taulukko 53. Eri UPS-järjestelmien akkujännitteet

Järjestelmä	UPS-akkujen jännite VDC
koneisto	430
puhelinvaihte	54
pääsähkötaulu	400
häätätaulu	26
hotellin tietokoneet ja pistorasiat	440
höyryturbiini	27
dieselgeneraattori	27
merenkulun laitteet	430
kuulutusjärjestelmä	270

## Pääsähkötaulun M10 erottaminen /17/

1. Työlupa täytetty ja allekirjoitettu.
2. Ilmoita työstä vahdissa oleva konemestarille ja aseta kyltti ”Miehiä työssä” valvomoon.
1. Häätätaulu E10 saa syöttönsä päätaulusta M10, avaa tämän syötön virrankatkaisija ja varmista, että häätätaulu saa syöttönsä päätaulusta M20
2. Varmista, että sähkötaulu ME20.2 saa syöttönsä päätaulusta M20 muuntajan ER TRS4 kautta.
3. Kaasuturbiinigenaattori #1:n hydraulisen käynnistimen virtalähde asentoon pois päältä. Lukitse ja aseta kyltti.
4. Kaasuturbiinigenaattori #1 hydraulisen käynnistimen toinen syöttö pois päältä paneelissa ME10P11/4
5. Avaa kaasutubiinigenaattorin syötön virrankatkaisija, lukitse ja aseta kyltti.
6. Maadoita kaasuturbiinigenaattorin syöttö, lukitse ja aseta kyltti.
7. Apudieselgeneraattorin käynnistysilmaventtiili kiinni, lukitse ja aseta kyltti.
8. Apudieselgeneraattorin polttoaineventtiili kiinni, lukitse ja aseta kyltti.
9. Apudieselgeneraattorin virrankatkaisija paneelissa M10P04 auki ja testiasentoon
10. Maadoita apudieselgeneraattorin syöttö paneelissa M10P04, lukitse ja aseta kyltti.

11. Dieselgeneraattorin käynnistysilmaventtiili kiinni, lukitse ja aseta kyltti.
12. Dieselgeneraattorin polttoaineventtiili kiinni, lukitse ja aseta kyltti.
13. Dieselgeneraattorin virrankatkaisija paneelissa M10P18 auki ja testiasentoon.
14. Maadoita dieselgeneraattorin syöttö paneelissa M10P18, lukitse ja aseta kyltti.
15. Häätätaulun syötön virrankatkaisija päätaulussa M10 auki ja testiasentoon, lukitse ja aseta kyltti.
16. Häätätaulun syötön virrankatkaisija häätätaulussa E10 auki ja testiasentoon, lukitse ja aseta kyltti.
17. Maadoita muuntajan EM TRS1 syöttö paneelissa M10P17, lukitse ja aseta kyltti.
18. Muuntajan ER TRS2 virrankatkaisija paneelissa M10P16 auki ja testiasentoon.
19. Käännä sähkötaulun ME10 syötön virrankatkaisija auki ja testiasentoon, lukitse ja aseta kyltti.
20. Maadoita muuntajan ER TRS2 syöttö paneelissa M10-P16, lukitse ja aseta kyltti.
21. Kompressorin AC2:n virrankatkaisija auki ja testiasentoon.
22. Maadoita kompressorin AC2:n syöttö paneelissa M10P15, lukitse ja aseta kyltti.
23. Kompressorin AC1:n virrankatkaisija auki ja testiasentoon.
24. Maadoita kompressorin AC1:n syöttö paneelissa M10P14, lukitse ja aseta kyltti.
25. Syklokonvertterin CC1B syöttömuuntajan virrankatkaisija auki ja testiasentoon.
26. Maadoita syklokonvertterin CC1B syöttömuuntajan syöttö paneelissa M10P13, lukitse ja aseta kyltti.
27. Potkurin POD1 lisälaitemuuntajan virrankatkaisija auki ja testiasentoon.
28. Maadoita potkurin POD1 lisälaitemuuntajan syöttö paneelissa M10P12, lukitse ja aseta kyltti.
29. Syklokonvertterin CC1A syöttömuuntajan virrankatkaisija auki ja testiasentoon.
30. Maadoita syklokonvertterin CC1A syöttömuuntajan syöttö paneelissa M10P11, lukitse ja aseta kyltti.



31. Keulapotkurin #2 virrankatkaisija auki ja testiasentoon.
32. Maadoita keulapotkuri #2 syöttö paneelissa M10P09, lukitse ja aseta kyltti.

## 8 YHTEENVETO

Laivan sähkömestarien työ eroaa maalla työskentelevien sähköinsinöörien töistä. Laivalla työ on paljon käytännön läheisempää, esimerkiksi imurille oli yllättävän paljon käyttöä, sekä osin myös paljon monipuolisempaa. Suomessa alkavan sähkömestarikoulutuksen pääsyvaatimuksena on laivasähkömiehen pätevyyskirja, ja vietettyäni kuusi kuukautta näitä töitä opiskellen ymmärrän hyvin miksi.

Sähkömestarien työkuorma, kiire, stressi sekä verrattain pitkistä sopimuksesta, kymmenen viikkoa, johtuva väsymys aiheuttavat omat ongelmansa. Suuri osa töistä on enemmän tai vähemmän vaarallisia joko itselle tai muille sähkömestareille, tai varsinaisille laitteen käyttäjille tai jopa itse laivalle. Esimerkkinä ensiksi mainitusta voidaan mainita tietysti suurjännitetyöt, kun taas hissien ja vinssien huolto täytyy hoitaa kunnolla, jotta sivulliset eivät satuta itseään. Kiertävän päivystyksen takia saattavat keskeneräiset työt siirtyä sähkömestarilta toiselle, jolloin tiedon välitys on tärkeää. Myös eri kansallisuuksien aiheuttamat työkulttuurierot aiheuttivat pientä neuvottelua useamman kerran sekä pieni kielimuuri, joka varsinkin meluisassa konehuoneessa häiritsi.

Suurin ongelma kuitenkin on rahan vähyys eli rahan puutteesta johtuva sähkömiesten ylityötuntien sekä varaosien puute. Jewel on jo kymmenen vuotta vanha laiva, ja sen ikä näkyy tarvittavien varaosien määrässä. Usein alkuperäisiä osia vastaavia varaosia ei enää ole saatavilla, ja uudet varaosat eivät vastaa alkuperäisiä esimerkiksi kokonsa puolesta, jolloin aluksi yksinkertaiselta tuntuva työ muuttuukin isoksi projektiksi, kun varaosaa vailla oleva laite vaatiikin muutoksia ennen kuin uutta varaosaa voidaan asentaa. Lisäksi laivalla lähes jatkuvasti olevat matkustajat vaativat isojen töiden tarkkaa ajoitusta, sillä matkustajien lomaa tulisi häiritä mahdollisimman vähän. Viikottain Jewel on ilman matkustajia vain noin kolme tuntia.

Vaikka Jewel in sähkömestarit olivatkin ammattitaitoisia ja hyvin kokeneita, melkein kaikilla 10-15 vuotta merellä, kaikkea hekään eivät osanneet tai muuten pystyneet korjaamaan. Sitä varten yhtiön päämajasta Miamista löytyy joukko alueidensa erityisosaajia, ja tarvittaessa käytetään myös eri laitteiden valmistajien apua myös

paikan päällä laivalla. Esimerkkeinä mainittakoon ABB ja sähkötaulujen huolto, KONE ja hissien suuremmat huoltotyöt, Autronica ja uusien palohälytyspisteiden lisääminen järjestelmään, Miami Divers vedenalaisia kunnostustöitä varten sekä yhtiön omista, eri laivoja kiertävistä työntekijöistä komentosillan navigointilaitteiden uusiminen sekä dieselgeneraattorin laakereiden uusiminen. Lisäksi laivalla vierailevat usein joko yhtiön omat tai ulkopuoliset tarkastajat, esimerkiksi DNV tai rannikkovartiosto, jotka tosin aiheuttavat koko laivalle lisää töitä sähkömestarit mukaan lukien.

## LYHENTEET

ADG	Lisädieselgeneraattori (engl. Auxiliary Diesel Generator)
COGAS	Yhdistetty kaasu ja höyry (engl. combined gas and steam)
dBc	Desibelimäärä suhteessa kanta-aallon tehoon
dBm	Desibelimäärä suhteessa tehoon 1 milliwatti
DG	Dieselgeneraattori (engl. Diesel Generator)
DNV	Riippumaton norjalainen säätiö, joka luokitaa Royal Caribbean Internationalin laivat
DSLCL	Digitaalinen tahdistin ja kuormanhallinta (engl. Digital Synchronizer and Load Control)
EDG	Hätädieselgeneraattori (engl. Emergency Diesel Generator)
GT	Bruttovetoisuus, aluksen kokonaisvetoisuus, käsittää käytännössä koko aluksen tilavuuden (engl. Gross Tonnage)
GTG1	Kaasuturbiinigeneraattori 1 (engl. Gas Turbine Generator)
GTG2	Kaasuturbiinigeneraattori 2 (engl. Gas Turbine Generator)
ICCP	Katodinen suojaus ruostumisen ehkäisyyn (engl. Impressed Current Cathodic Protection)
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö (engl. International Maritime Organization).
IMO-numero	Uniikki tunnus, joka seuraa alusta koko sen eliniän
JSA	Työturvallisuusanalyysi (engl. Job Safety Analysis)
JW	Jewel of the Seas
MCC	Moottorinohjauskeskus (engl. Motor Control Center)
MMSI-numero	Laivakohtainen radiotunnistenumero (engl. Maritime Mobile Service Identity)
RCI	Royal Caribbean International
SOLAS	Kansainvälinen merenkulun turvallisuussopimus (engl. Safety of Life at Sea)
STG	Höyryturbiinigeneraattori (engl. Steam Turbine Generator)

## LÄHTEET

1. Tecnoparador-internetsivusto, viitattu 20.3.2014, saatavilla:  
[http://www.tecnoparador.es/actividades/centrales/ciclo\\_combinado.html](http://www.tecnoparador.es/actividades/centrales/ciclo_combinado.html)
2. GE Aviationin internetsivusto, viitattu 7.5.2014, saatavilla:  
<http://www.geaviation.com/marine/engines/military/lm2500plus/>
3. Thermopedia-internetsivusto, viitattu 16.4.2014, saatavilla:  
<http://www.thermopedia.com/content/808/>
4. Royal Caribbeanin kansainvälinen internetsivusto, viitattu 18.4.2014, saatavilla:  
<http://www.royalcaribbean.com/findacruise/ships/class/ship/home.do?shipClassCode=RD&shipCode=JW&br=R>
5. MarineTraffic-internetsivusto, viitattu 16.3.2014, saatavilla:  
[http://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/9228356/vessel:JEWEL\\_OF\\_THE\\_SEAS](http://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/9228356/vessel:JEWEL_OF_THE_SEAS)
6. MarineTraffic-internetsivusto, viitattu 16.3.2014, saatavilla:  
[https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/276807000/vessel:SILJA\\_EUROPA](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/276807000/vessel:SILJA_EUROPA)
7. Saarlás, M. 1987. Steam and Gas Turbines for Marine Propulsion. Naval Institute Press; 2<sup>nd</sup> edition, viitattu 17.6.2014.
8. Royal Caribbean Cruises Ltd. Annual Report 2012, viitattu 18.3.2014, saatavilla: <http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=103045&p=irol-reportsannual>
9. JW Operation Manual 0656.028.1 Steam Turbine, 2004, viitattu 18.4.2014.
10. Jewel of the Seas – Engine Standard Operating Procedures 8.80.01 Earthing Sequence for GTG1, 2004, viitattu 15.5.2014
11. Jewel of the Seas – Engine Standard Operating Procedures 8.80.03 Earthing Sequence for STG, 2004, viitattu 1.5.2014
12. Jewel of the Seas – Engine Standard Operating Procedures 8.80.05 Earthing Sequence for DG, 2004, viitattu, 27.4.2014
13. JW Operation Manual 0658.031.1 Electrical Distribution Network and Control, 2004, viitattu 29.4.2014
14. JW Operation Manual 0658.028.1 LM2500+ Gas Turbine Engine, 2014, viitattu 17.5.2014

15. JW Operation Manual 0658.034.1 Emergency Generator, 2004, viitattu 4.4.2014
16. JW Operation Manual 0658.051.1 Auxiliary Emergency Diesel, 2004, viitattu 9.6.2014
17. Jewel of the Seas – Engine Standard Operating Procedures 8.82.01 Earthing of Main Switchboard M10 and M20 (MSWBD). 2004, viitattu 25.5.2014
18. Mäkinen, P.A. 2013. SFS 6002 käytännössä. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. s. 36-37, viitattu 4.6.2014
19. Wikipedia-internetsivusto, viitattu 13.3.2014, saatavilla: [http://en.wikipedia.org/wiki/MS\\_Allure\\_of\\_the\\_Seas](http://en.wikipedia.org/wiki/MS_Allure_of_the_Seas)
20. Wärtsilä Oy:n internetsivusto, viitattu 1.6.2014, saatavilla: <http://www.wartsila.fi/en/engines/medium-speed-engines/wartsila38>
21. ABB:n mainoslehtinen, ABB / Synchronous Generators GB 02-2004, viitattu 16.6.2014